

МНОГОФОТОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Г.И.Асеев, М.Л.Кац, В.К.Никольский

Двухфотонное поглощение в чистых щелочно-галогидных кристаллах (ШГК) впервые наблюдали Хопфилд и Ворлок [1]. В их работах приведены результаты теоретического и экспериментального изучения спектров двухквантового поглощения KJ и CsJ в области экситонной полосы поглощения. Несколько позже было исследовано многофотонное возбуждение фотопроводимости в кристалле $NaCl$ при облучении светом рубинового лазера в режиме модулированной добротности [2]. Результаты этой работы указывают на 5-фотонный процесс поглощения света. Измерения многофотонного поглощения кристаллов существенно дополняют имеющиеся спектроскопические данные и ставят ряд новых вопросов, связанных с определением эффективности многоквантовых процессов, выполнимостью правил отбора, механизмом перевода электрона в зону проводимости в случае экситонного поглощения и др.

Нами обнаружена и исследована фотопроводимость ряда ШГК ($NaCl$, KCl , KBr , $NaBr$, KJ), возникающая при облучении образцов светом рубинового и неодимового лазеров, работающих в обычном режиме генерации. Энергия обоих лазеров могла меняться от 0,1 до 10 дж при длительности импульса генерации 0,5 – 2 мсек. Излучение ОКГ фокусировалось на образец, помещенный между пластинами плоского конденсатора, напряжение на котором варьировалось от 0,5 до 1,5 кВ. Эффект поляризации диэлектрика был сведен к минимуму синхронизацией лазерной вспышки и момента подключения конденсатора к источнику питания. Импульсный сигнал фототока регистрировался осциллографом с фотокамерой. Используемые для измерений образцы $6 \times 6 \times 1$ мм выкалывались из монокристаллов, выращенных из расплава методом Киропулоса. Исходные соли марки ХЧ подвергались специальной очистке.

Во всех измерениях длительность импульса фототока была на 300 – 500 мксек больше длительности лазерной вспышки, а время нарастания переднего фронта импульса составляло 200 – 300 мксек.

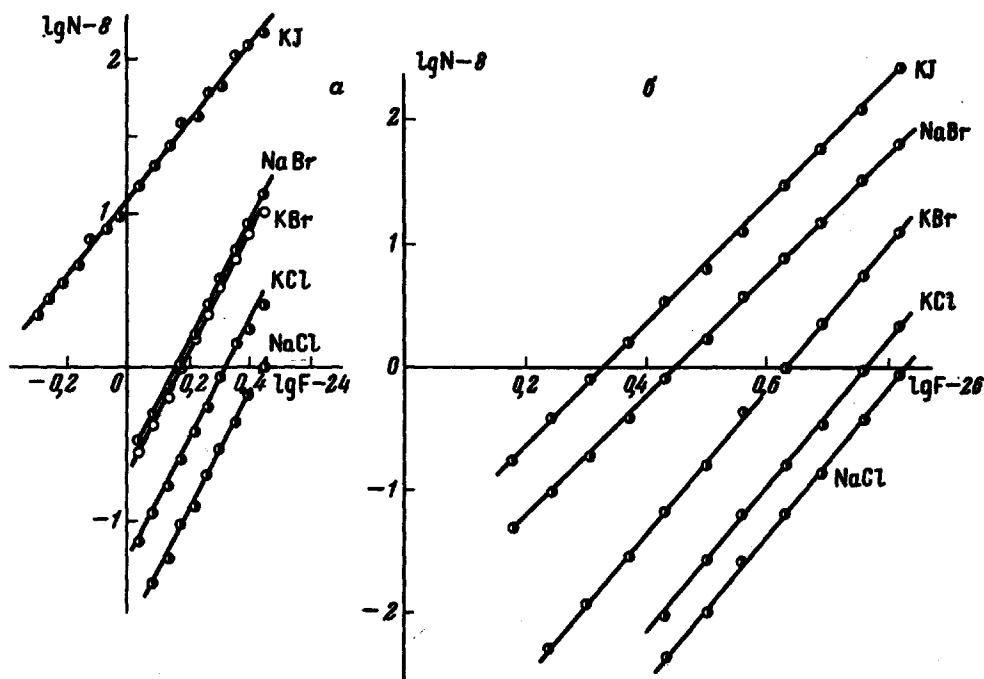
На рисунке представлены в логарифмическом масштабе графики зависимости числа индуцированных электронов N в зоне проводимости от величины фотопотоков рубинового (F_p) и неодимового (F_H) лазеров. Экспериментальные точки, полученные в результате усреднения 9 – 12 независимых измерений, хорошо укладываются на прямые, наклоны ко-

торых для исследованных ШГК сведены в табл. 1. Экспериментально найденные значения n очень близки к целым числам. При выполнении зависимости $N \sim F^n$ это указывает на многоквантовое возбуждение фототока в исследованных ШГК. Однако, механизм перевода электронов в зону проводимости по-видимому различен для разных кристаллов и требует обсуждения.

Т а б л и ц а 1

Тангенсы углов наклона прямых $\lg N \sim \lg F$

| Кристалл | Рубиновый ОКГ | Неодимовый ОКГ |
|----------|---------------|----------------|
| NaCl | 4,00 | 6,08 |
| KCl | 3,93 | 6,05 |
| KBr | 4,05 | 5,98 |
| NaBr | 4,05 | 5,02 |
| KJ | 2,65 | 5,02 |



Зависимости числа электронов проводимости от фотопотоков рубинового *а* и неодимового *б* лазеров для некоторых ШГК

При возбуждении рубиновым лазером представляется ясным механизм возникновения фототока в кристаллах KBr и $NaBr$ ($n = 4$). В этом случае длина волны, соответствующая $4h\nu_p$ (173,6 нм) приходится на спектральную область второй полосы фундаментального поглощения ($\lambda_{max} = 173$ нм) [3], обусловленную переходом зона-зона. Процессы поглощения более низких порядков для этих кристаллов не могут наблюдаться, так как уже $\lambda = 231,4$ нм, соответствующая $3h\nu_p$, выходит из области собственного поглощения KBr и $NaBr$.

4-фотонное возбуждение фотопроводимости KCl и $NaCl$ и 3-фотонное KJ соответствуют экситонным полосам поглощения этих кристаллов [3], при этом возникновение фототока есть, по-видимому, следствие быстрой ионизации экситонов.

При возбуждении неодимовым ОКГ прямая 6-фотонная ионизация, (λ для $6h\nu_H = 176,6$ нм), соответствующая переходу электрона зона-зона, наблюдается только для KBr . Возбуждения экситонов здесь ожидать нельзя по причине, аналогичной указанной выше. Для всех остальных исследованных нами ШГК фототок, индуцированный излучением неодимового лазера, есть результат 5- или 6-фотонного возбуждения экситонов и их последующей диссоциации. Последняя может произойти либо под действием поля сильной электромагнитной волны [4], либо вследствие поглощения световой энергии на неоднородностях и примесных включениях "чистых" кристаллов, вызывающего нестационарный нагрев и сильные локальные колебания решетки вблизи дефектов. Однако, так как в наших экспериментах ОКГ работал в обычном режиме, то, по-видимому, вероятность второго процесса больше первого. В режиме модулированной добротности и при острой фокусировке лазерного излучения на образец должен в соответствии с [4] преобладать первый процесс, но в этом случае $n = 5$ для $NaCl$ [2], вместо 4 (табл. 1).

Проведенные измерения позволяют количественно оценить полное число электронов проводимости N , участвующих в образовании фототока, а также эффективность процесса η при n -фотонном возбуждении фотопроводимости для ряда значений фотопотоков ОКГ. N определялось как $N = \left\{ \int_0^t i(t) dt \right\} / e$, где $i(t)$ — зависимость силы фототока от времени импульса, e — заряд электрона. η определяется как отношение N к числу фотонов ОКГ, падающих на образец, т.е.

$$\eta = N : (E_{\text{лаз}}/h\nu_{\text{лаз}}).$$

Таблица 2

Значения N и η для некоторых ЩГК

| Фотопоток, $\text{см}^{-2}/\text{сек}^{-1}$ | Кристалл | n | N | η |
|--|----------|-----|------------------|-----------------------|
| $F_p = 10^{24}$ | KJ | 3 | $1,5 \cdot 10^9$ | $8,8 \cdot 10^{-11}$ |
| | KCl | 4 | $7,5 \cdot 10^6$ | $4,3 \cdot 10^{-13}$ |
| $F_H = 1,7 \cdot 10^{26}$ | NaBr | 5 | $9,3 \cdot 10^6$ | $1,75 \cdot 10^{-13}$ |
| | KBr | 6 | $4,7 \cdot 10^5$ | $8,85 \cdot 10^{-15}$ |

Как следует из табл. 2, эффективности n - и $(n+1)$ -фотонного процессов отличаются на 1 – 2 порядка, что обусловлено как изменением вероятности возбуждения фотопроводимости, так и значительным различием в коэффициентах поглощения ЩГК на длинах волн многофотонных процессов. Детальный анализ зависимости $\eta(F, n, \kappa)$ будет доложен в следующем сообщении.

Саратовский
государственный университет

Поступило в редакцию
17 июня 1968 г.

Литература

- [1] J. J. Hopfield, J. M. Worlock. Phys. Rev. Lett., 11, 414, 1963; Phys. Rev., 137, 1455, 1965.
- [2] В.С.Днепровский, Д.Н.Клышко, А.Н.Пенин. Письма ЖЭТФ, 3, 385, 1966.
- [3] М.Л.Кац. Люминесценция и электронно-дырочные процессы в фотохимически окрашенных кристаллах щелочно-галогидных соединений. Изд. СГУ, Саратов, 1960.
- [4] Л.В.Келдыш. ЖЭТФ, 47, 1945, 1964.